

Blattdüngung im Gemüsebau



***27. Thüringer Gemüsebautag
12. Dezember 2018, Erfurt***

Prof. Dr. Thomas Eichert, FH Erfurt

Gliederung

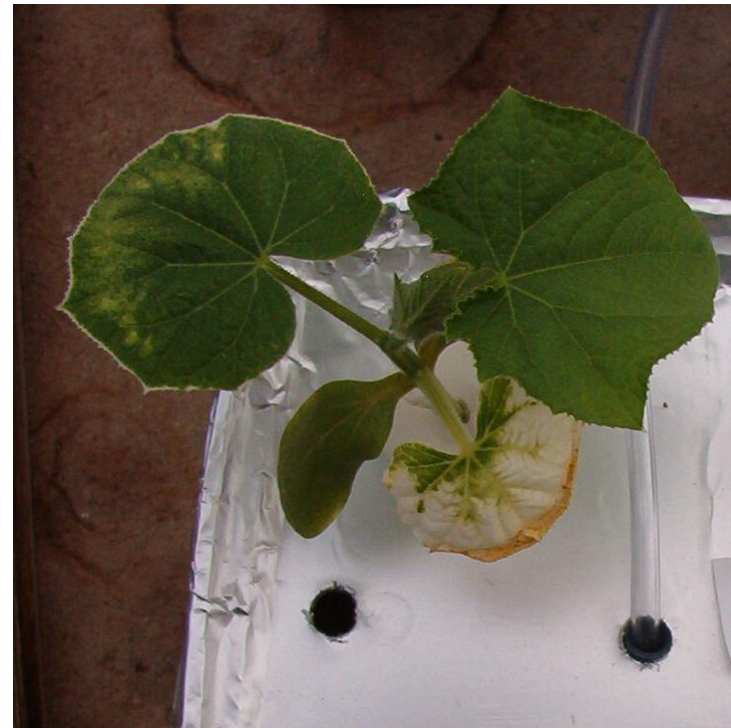
- **Einleitung**
Besonderheiten bei der Blattdüngung
- **Wo und wie erfolgt die Aufnahme ins Blatt?**
Cuticula und Stomata
- **Steuernde Umweltbedingungen**
Zentrale Rolle der Luftfeuchtigkeit
- **Anwendungen**
Spurenelemente / Calcium
- **Schlussfolgerungen**
Was folgt für die Praxis?

Blattdüngung?
Wirkt das überhaupt?
Kann ich eine Pflanze nur über Blätter
ernähren?

Fe-Blattdüngung bei Gurke



Gurke ohne Eisendüngung



**Gurke nach 1x Eisendüngung
über das Blatt. Gleiches Alter.**

P-Blattdüngung bei Paprika



Kontrolle ohne P

P-Dünger 1

P-Dünger 2

- Blattdüngung? Wirkt! -

- Blattdüngung: Vorteile und Herausforderungen -

Vorteile der Blattdüngung

- Dünger gelangt direkt auf die Pflanze
→ rasche Nährstoffzufuhr
- Kombinierbar mit Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln
→ spart Zeit und Geld
- Boden wird umgangen
→ Vorteil bei eingeschränkter Nährstoffverfügbarkeit
→ Vision: Vermeidung von Umweltbelastungen,
z.B. durch Nitratauswaschung?



Grundproblem bei der Blattdüngung

Die Nährstoffaufnahme erfolgt über ein Organ,
das dafür nicht vorgesehen ist!

Nährstoffaufnahme durch die Wurzel:

- Physiologisch kontrolliert
- Auch aktive Aufnahme
- Selektionsmöglichkeit



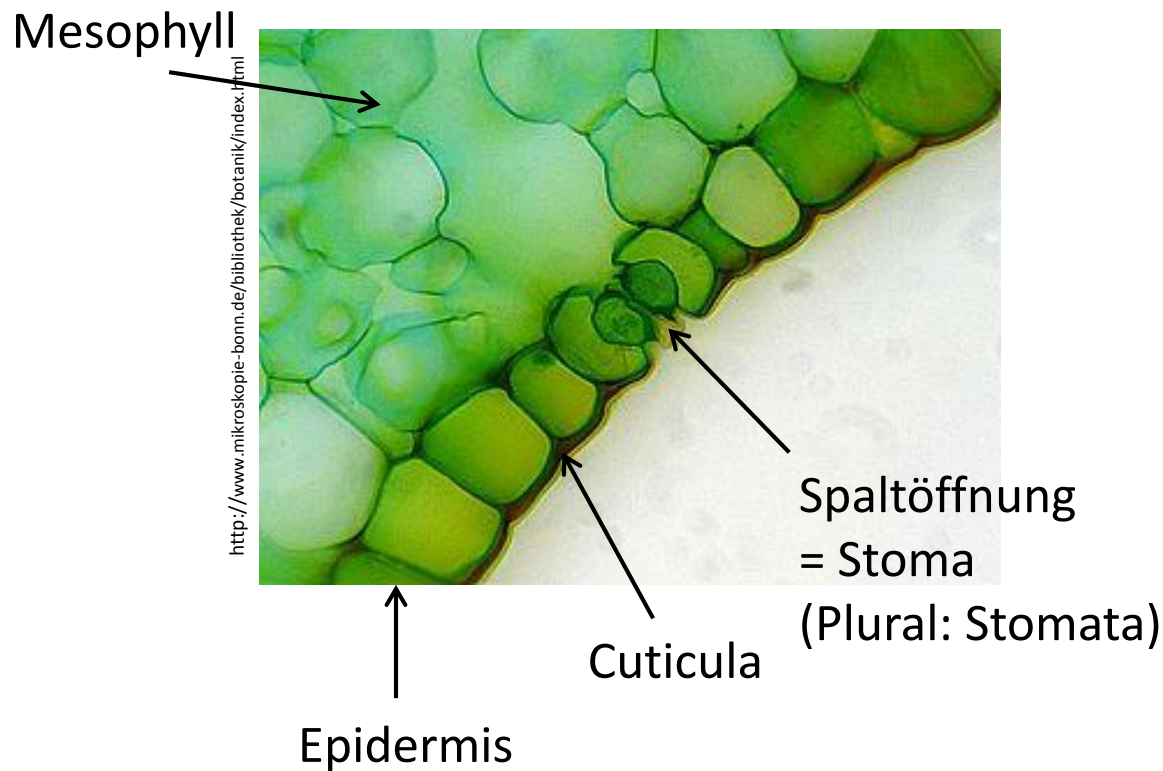
Nährstoffaufnahme über das Blatt:

- Keine physiologische Kontrolle
- Passiver, physikalischer Prozess
- Keine Selektionsmöglichkeit

Bildquelle: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Third Edition, 2012

Hauptfunktion der Blattoberfläche

Blattoberfläche im Querschnitt



Barriere gegen:

- Wasserverluste ($\pm$ hydrophobe Cuticula!)
- Eindringen von Pathogenen und unerwünschten Stoffen

Herausforderung bei der Blattdüngung

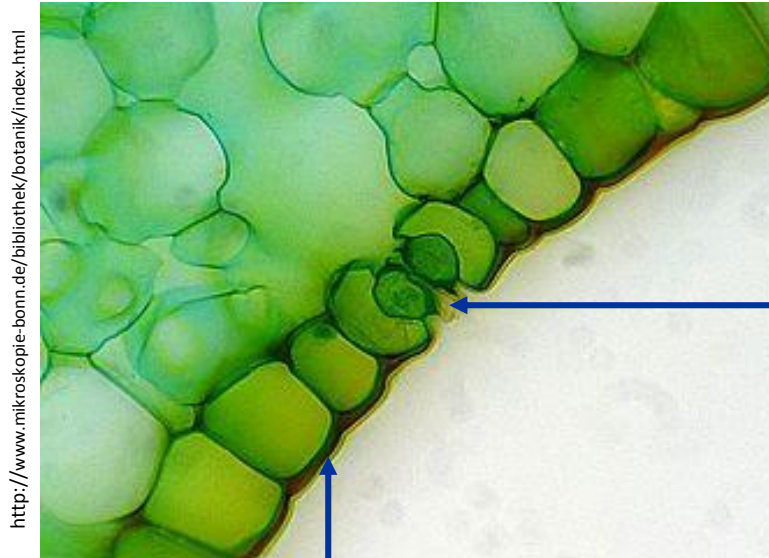
- **Überwindung der $\pm$ wasserabweisenden = hydrophoben Barriere** (oft unterstützt durch “Adjuvantien”, z.B. Netzmittel)
- **Rein passiver Prozess**
- **Optimale Aufnahmeraten:**
nicht zu wenig, aber auch
nicht zu viel
→ **Verbrennungen**



**Massive „Verbrennungen“ bei
Mais nach Fe-Blattdüngung**

- Blattdüngung: Wo werden die Stoffe aufgenommen? -

Wo sind die Aufnahmewege für Blattdünger?



2. Spaltöffnungen = Stomata

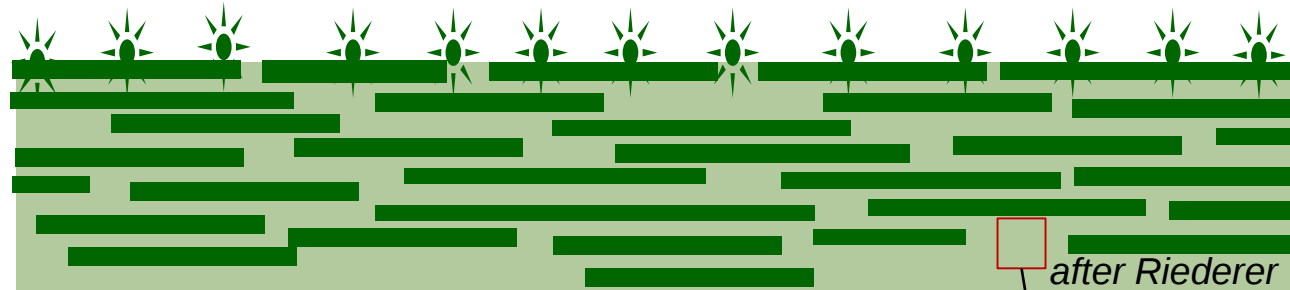
- Diffusion entlang der Wand der Öffnung

1. Cuticula

- Diffusion in „wässrigen polaren Poren“

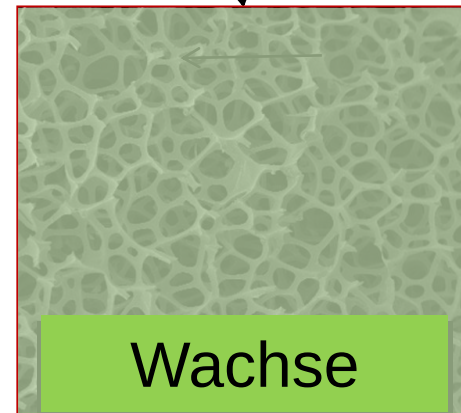
Aufnahme polarer Stoffe (z.B. Salze) durch die Cuticula

Einfaches Modell der Cuticula:

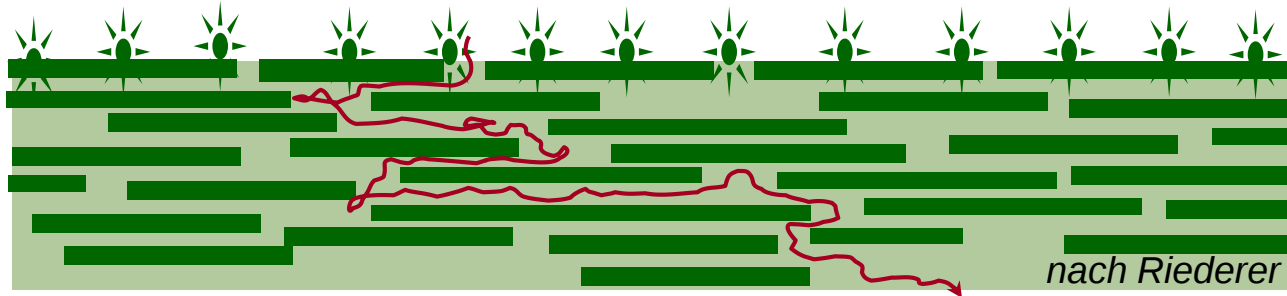


— Kristalline Wachse

— Amorphe Wachse



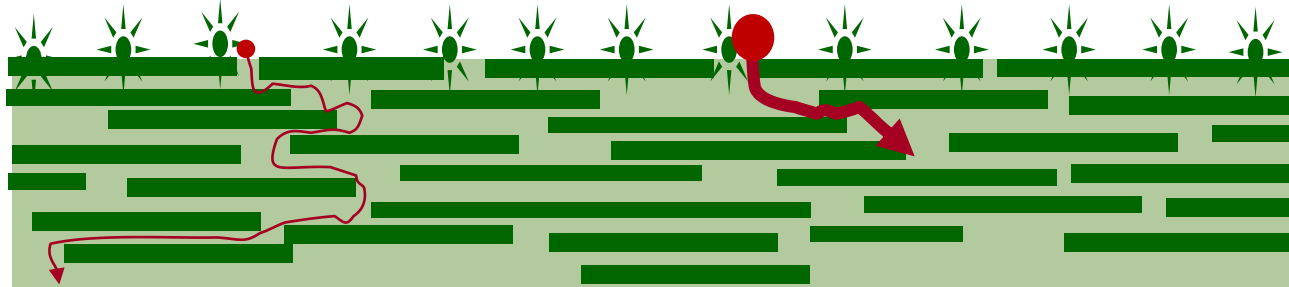
Länge Diffusionspfad > Dicke der Cuticula



— Kristalline Wachse

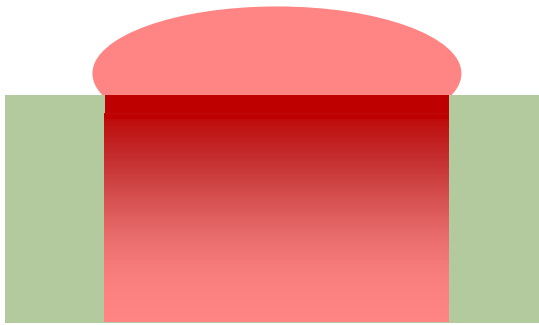
— Amorphe Wachse

Größenselektivität der Cuticula

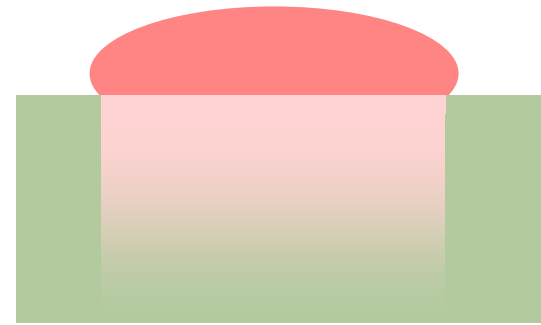


- Die Diffusionsgeschwindigkeit wird in der Cuticula weitaus stärker von der Molekülgröße beeinflusst als in Wasser
- Die Cuticula ist stark größenselektiv

Petration der Cuticula nach dem Lösungs-Diffusions-Modell



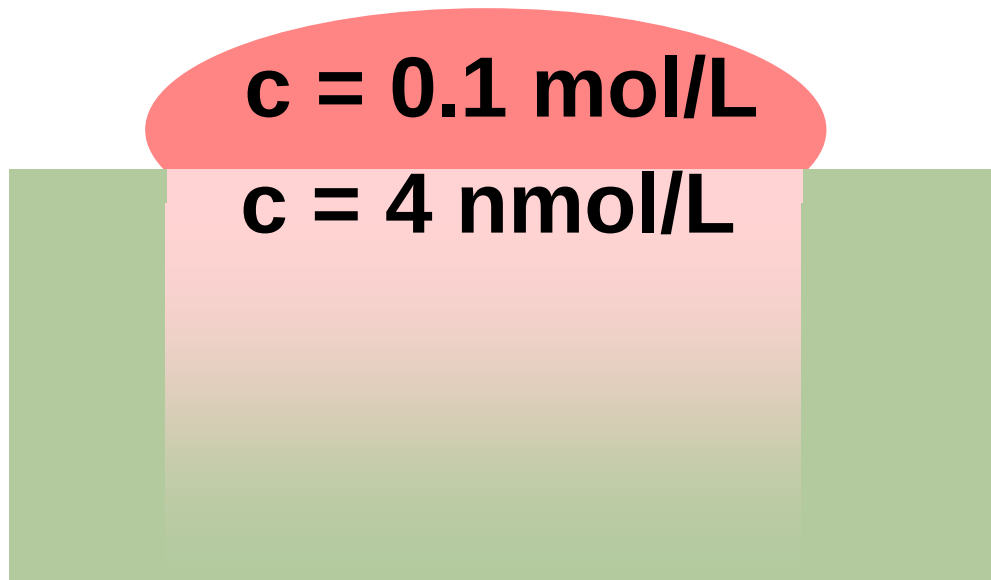
Gut löslich
(lipophile =
„fettliebende“ Substanz)
Beispiel: viele Pestizide



Schlecht löslich
(lipophobe = hydrophile =
„wasserliebende“
Substanz)
Beispiel: Salze

In der hydrophoben Cuticula lösen sich Salze so gut wie nicht!

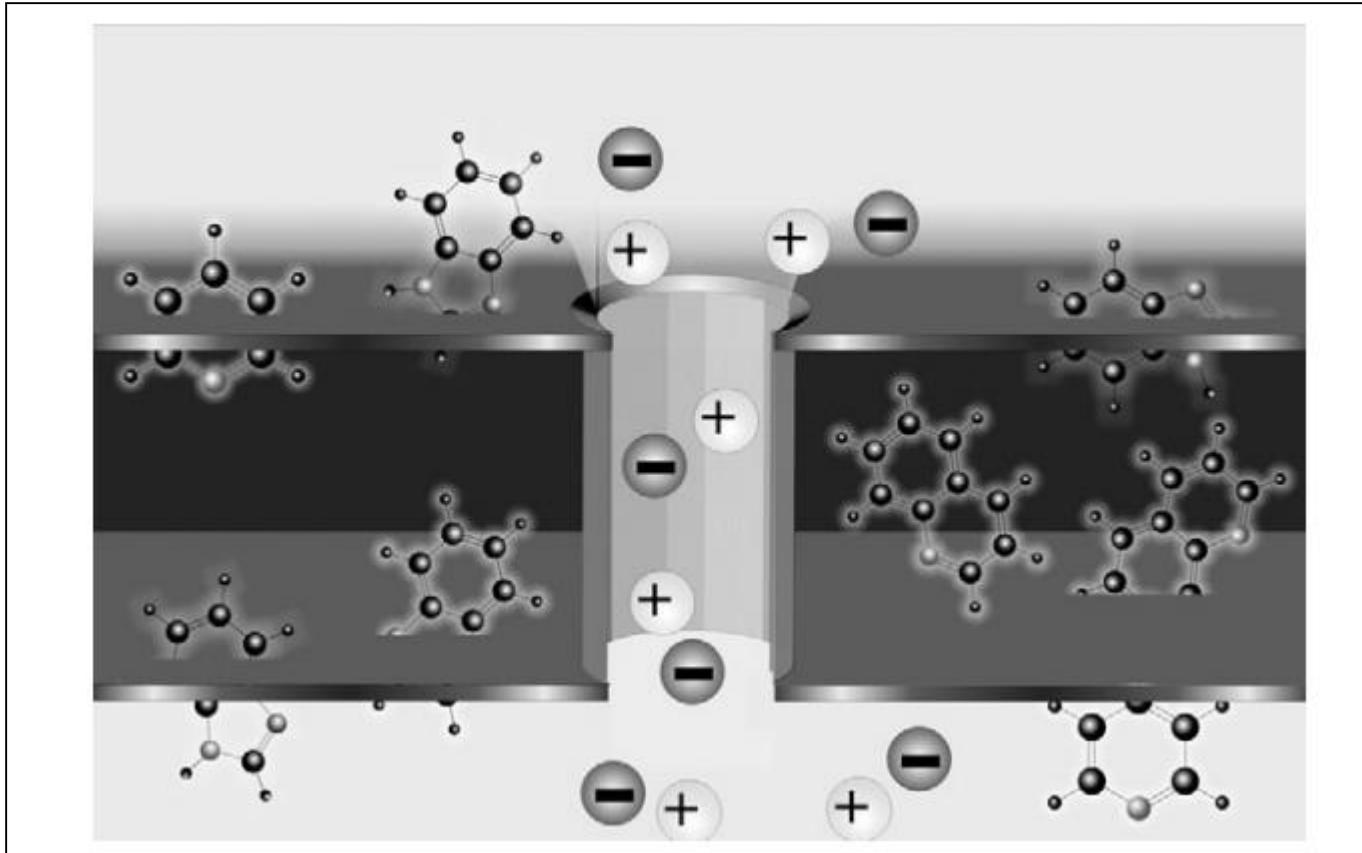
Beispiel: NH_4NO_3 -Lösung



Effektive Konzentration
= 0.000004%
der Konzentration auf der
Blattoberfläche

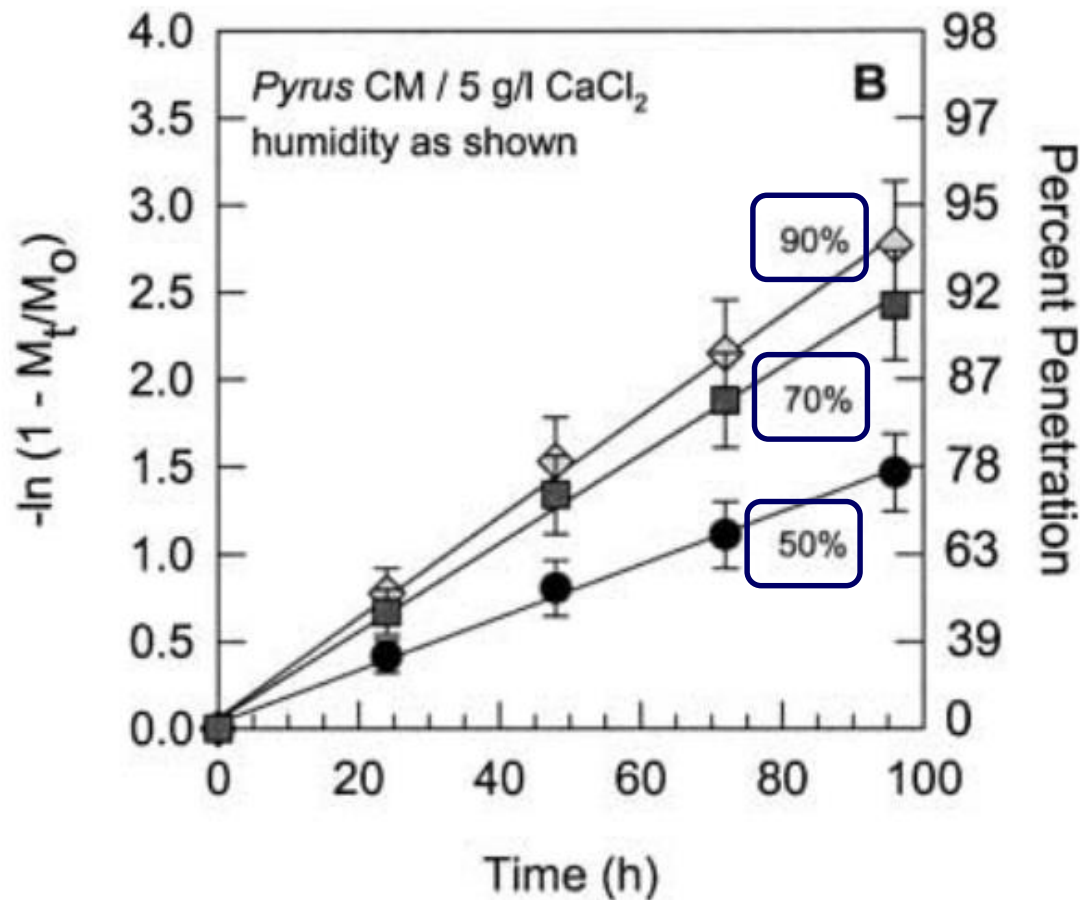
→ Wie werden Salze dennoch aufgenommen?

Aufnahme durch „polare Poren“



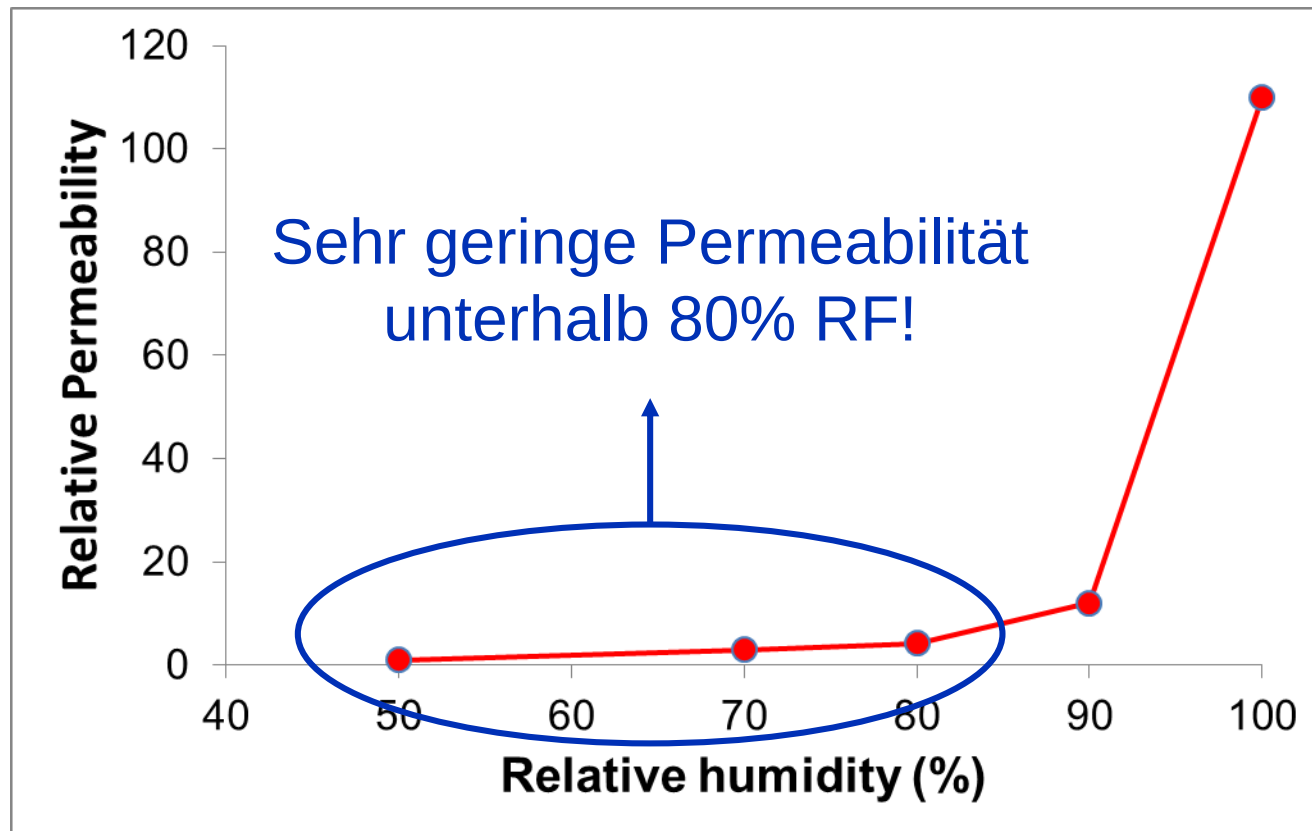
Schönherr 2006

Aufnahmeraten steigen mit steigender Luftfeuchtigkeit



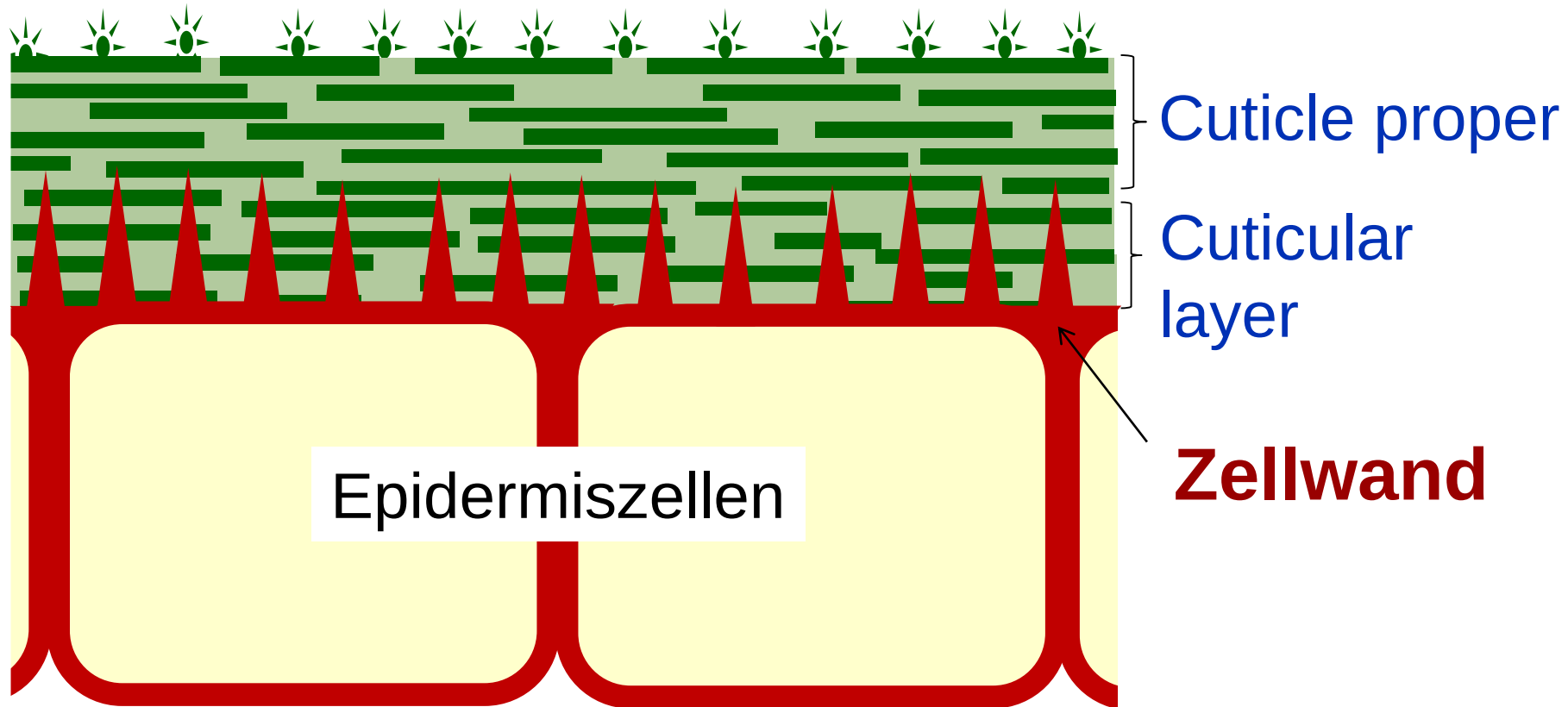
Schönherr, 2000

Einfluss der Luftfeuchte auf die Permeabilität (Durchlässigkeit) von isolierten Cuticeln



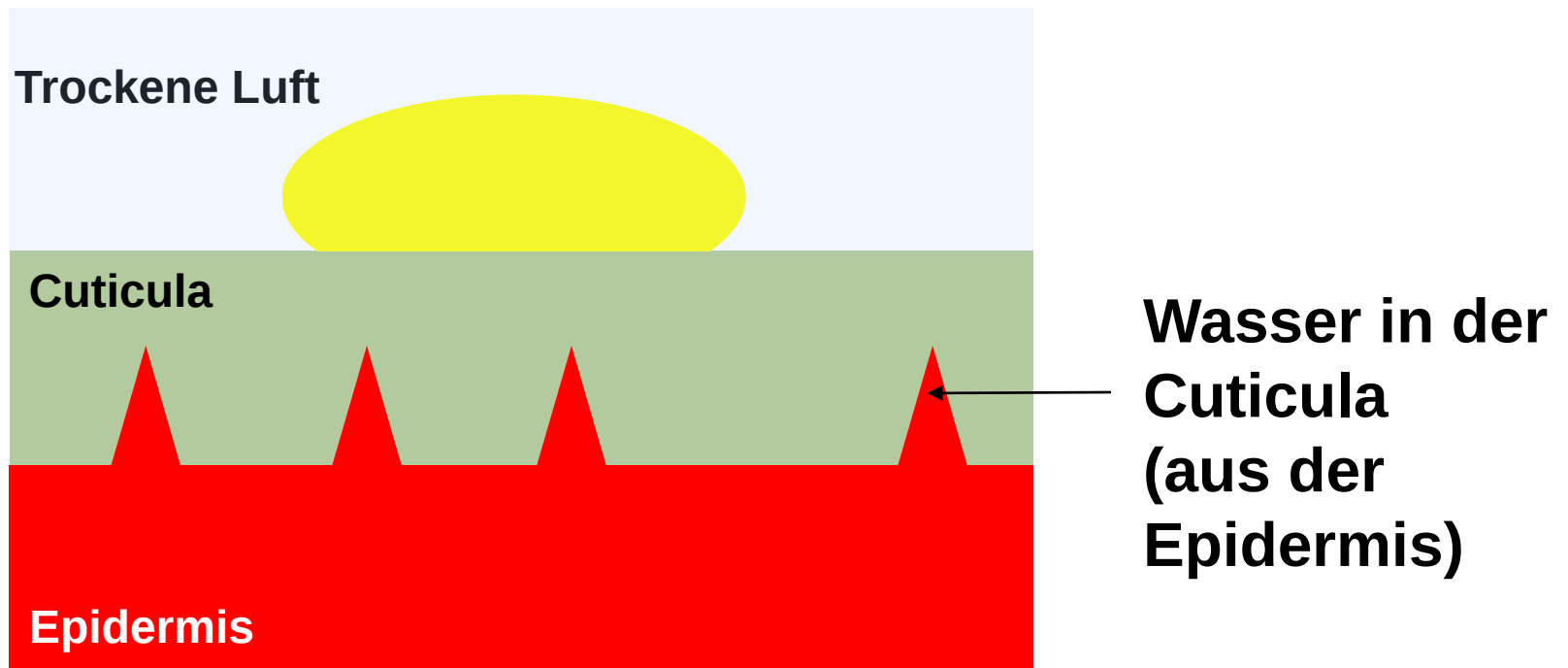
Modifiziert nach : Fernández and Eichert (2009), *Crit. Rev. Plant Sci.* 28:36–68.

Erweitertes Modell der Cuticula



Dynamisches Porenmodell

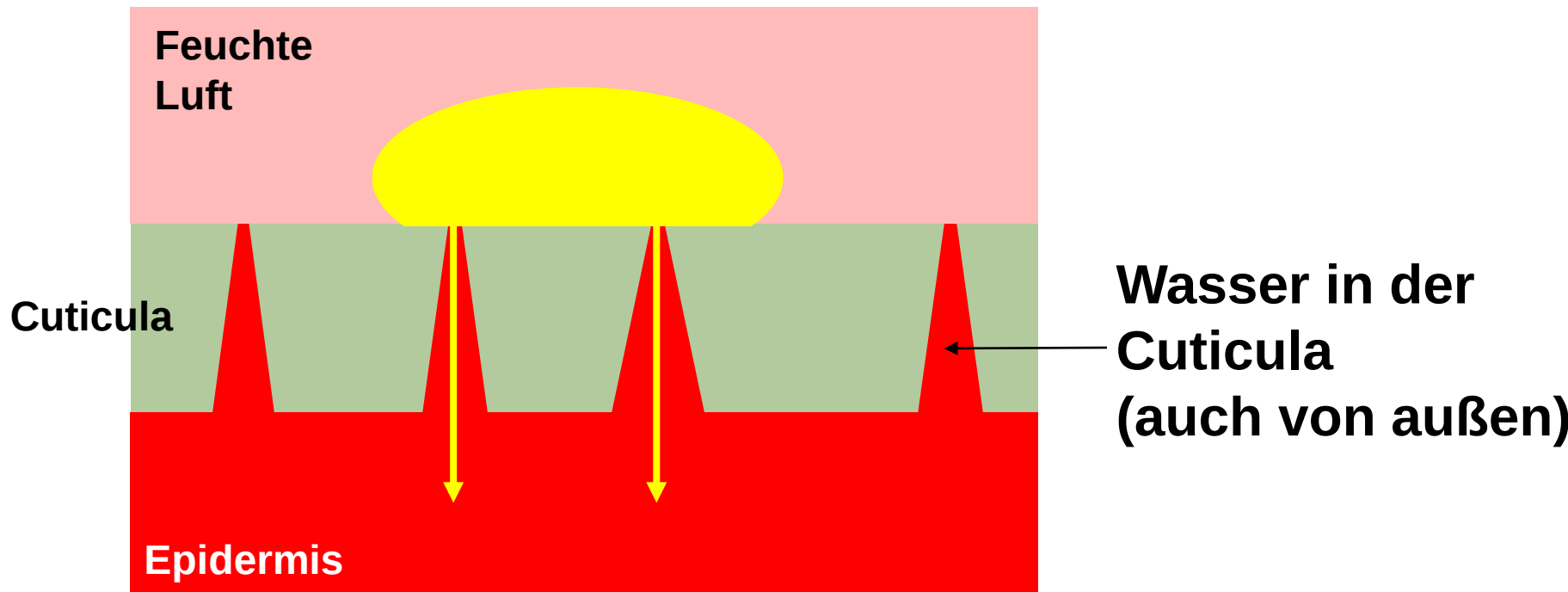
In trockener Luft: keine Poren



Verändert nach: Eichert und Fernández (2012), in: Marschner 3rd Ed.

Dynamisches Porenmodell

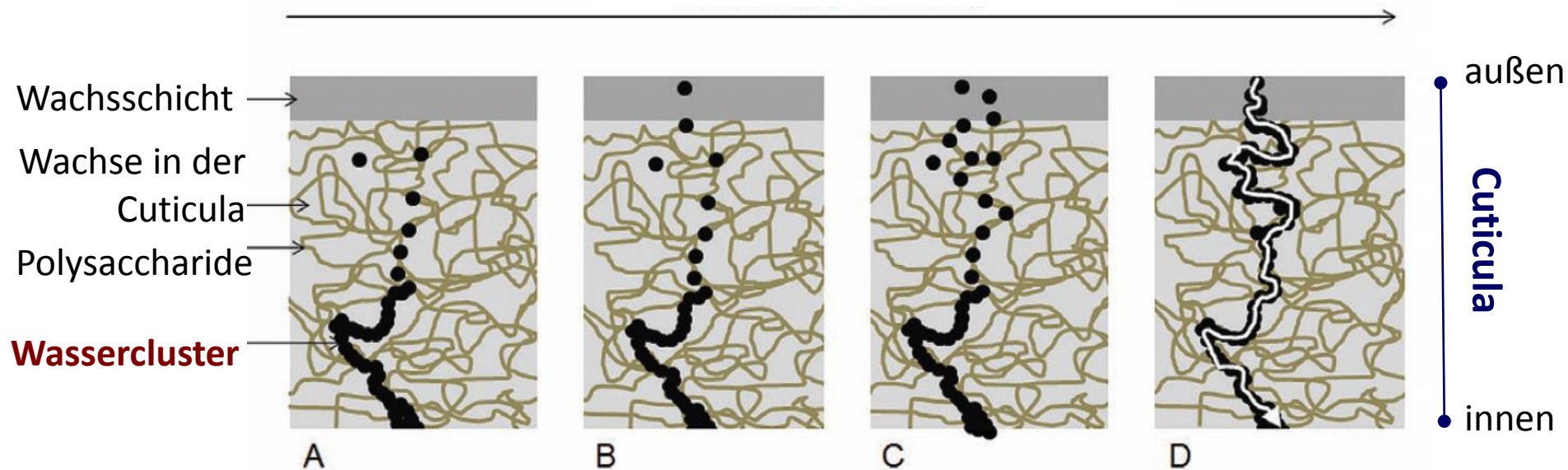
Feuchte Luft: Poren werden gebildet („Schwellen“ der Cuticula)



Verändert nach: Eichert und Fernández (2012), in: Marschner 3rd Ed.

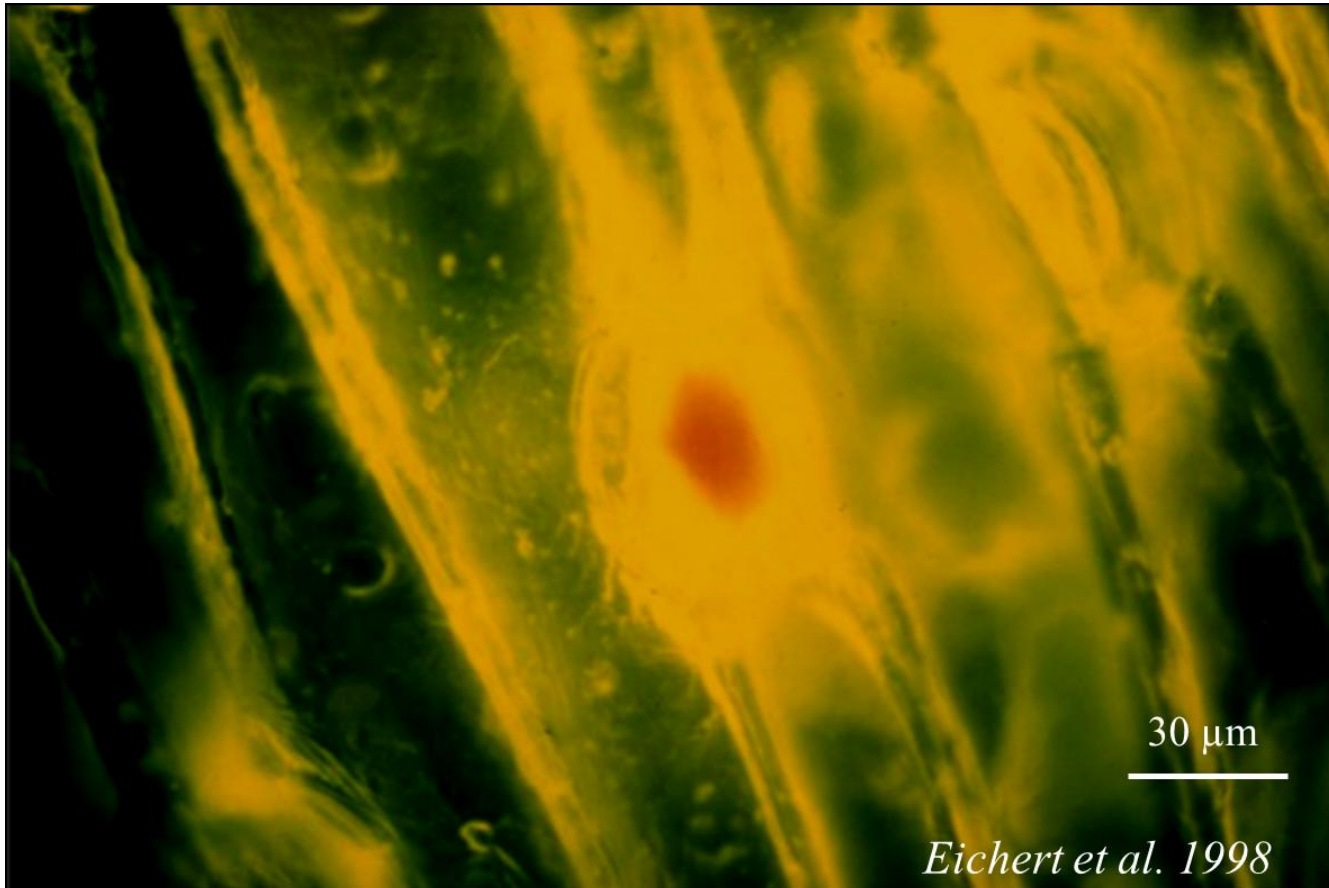
„Wässrige Poren“ in der Cuticula: Zufällig entstehende Aufnahmewege für Salze

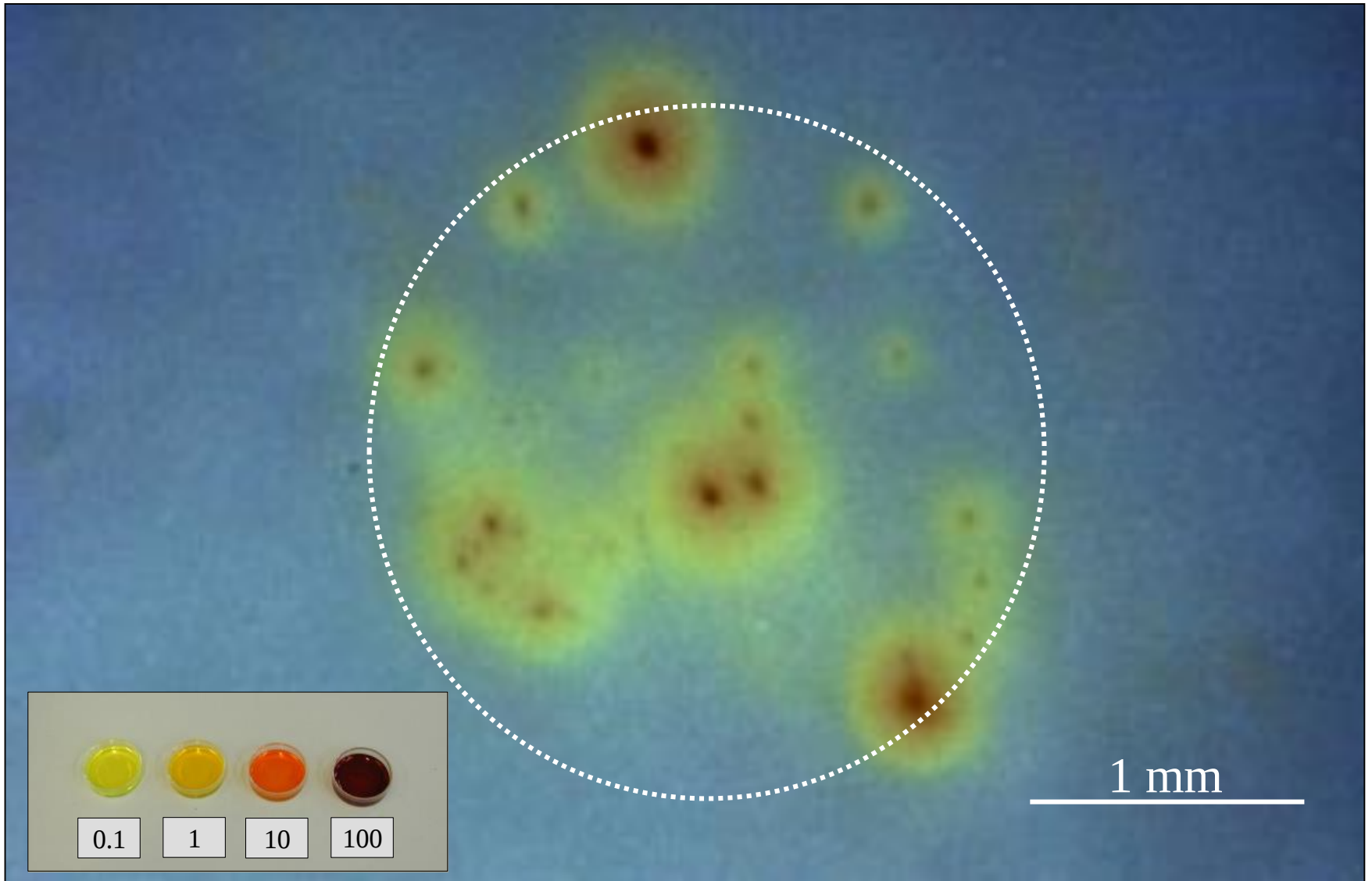
Zunehmende Luftfeuchtigkeit →



Fernández et al. 2017, verändert

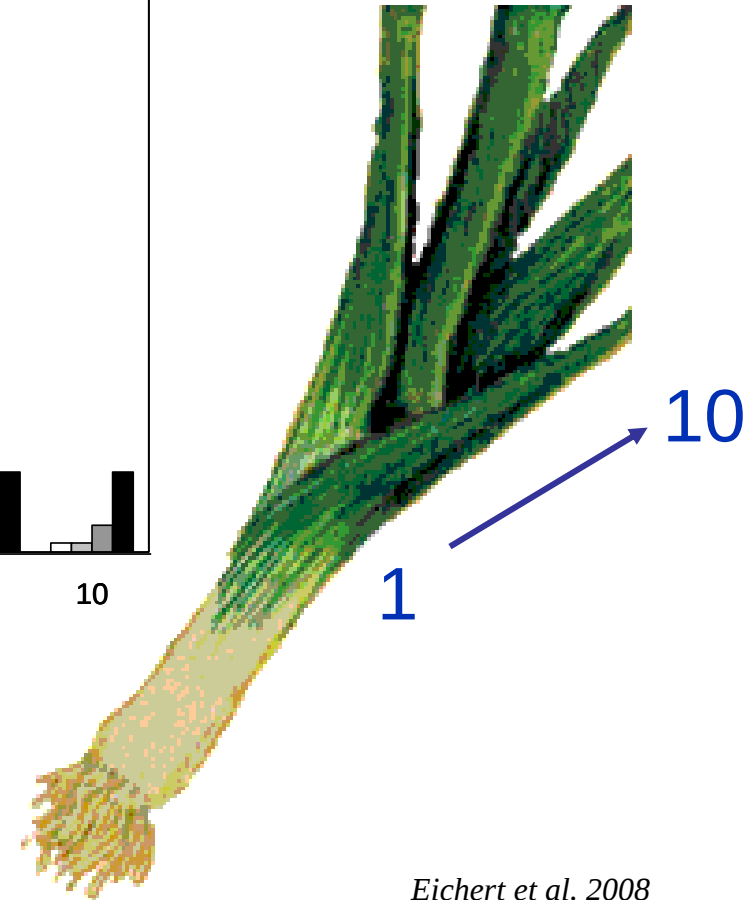
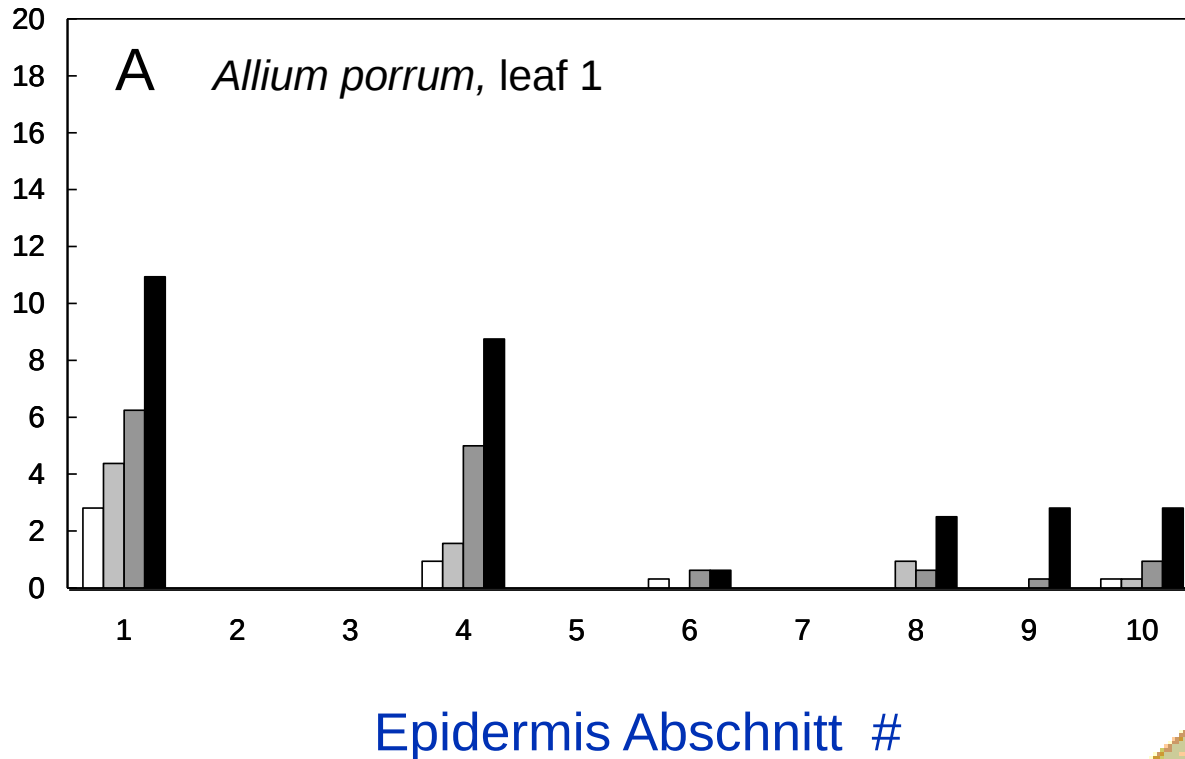
Bedeutung der Stomata für die Stoffaufnahme





Räumliche Variabilität der Aufnahme entlang eines Lauchblattes

Anteil penetrierter Stomata (%)



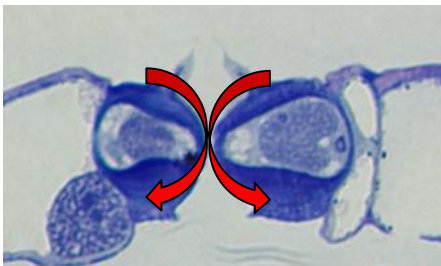
Eichert et al. 2008

Diffusion hydrophiler Nanopartikel (42 nm) durch Stomata von *Vicia faba*

Blattoberfläche ohne Stomata



Schnitt durch Stoma

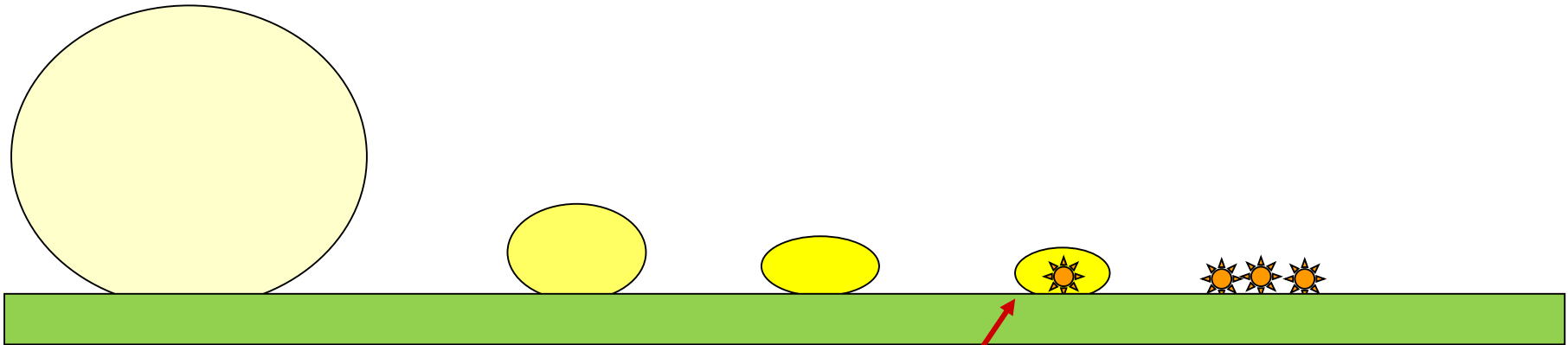


Eichert et al. (2008) Physiol. Plant. 134: 151–160

**- Die Luftfeuchtigkeit:
DER steuernde Faktor bei der Blattdüngung -**

Konzentrationsverlauf beim Eintrocknen von Lösungen auf dem Blatt

Austrocknen der Lösung



Anfangszustand:
flüssig

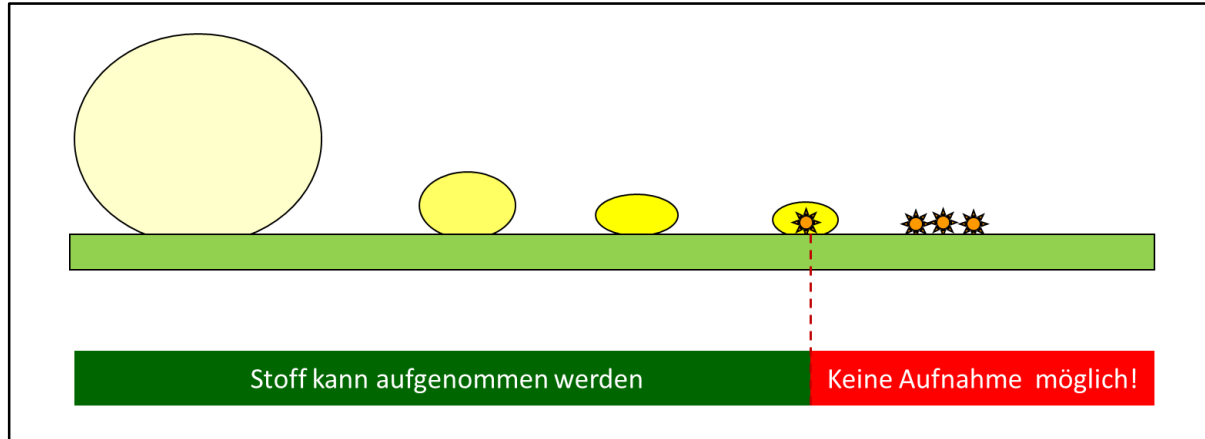
Zustand kurz vor
dem kompletten
Austrocknen:
flüssig
Konzentration maximal

Ausgetrocknet
fest

Stoff kann aufgenommen werden

Keine Aufnahme möglich!

Konzentrationsverlauf beim Eintrocknen von Lösungen auf dem Blatt



- Ob ein Tropfen vollständig austrocknet, hängt von der **relativen Luftfeuchtigkeit (RH)** ab!
- Aber auch **vom jeweiligen Salz!**
- Die Luftfeuchtigkeit, bei der das Salz austrocknet, wird **“Deliqueszenzpunkt” (DQ)** genannt
- **Jedes Salz hat einen spezifischen DQ**

Deliqueszenzpunkte (in RH) einiger Salze (20°C)

■ CaCl_2	31%
■ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	54%
■ $\text{Ca}(\text{HCOO})_2$	96%

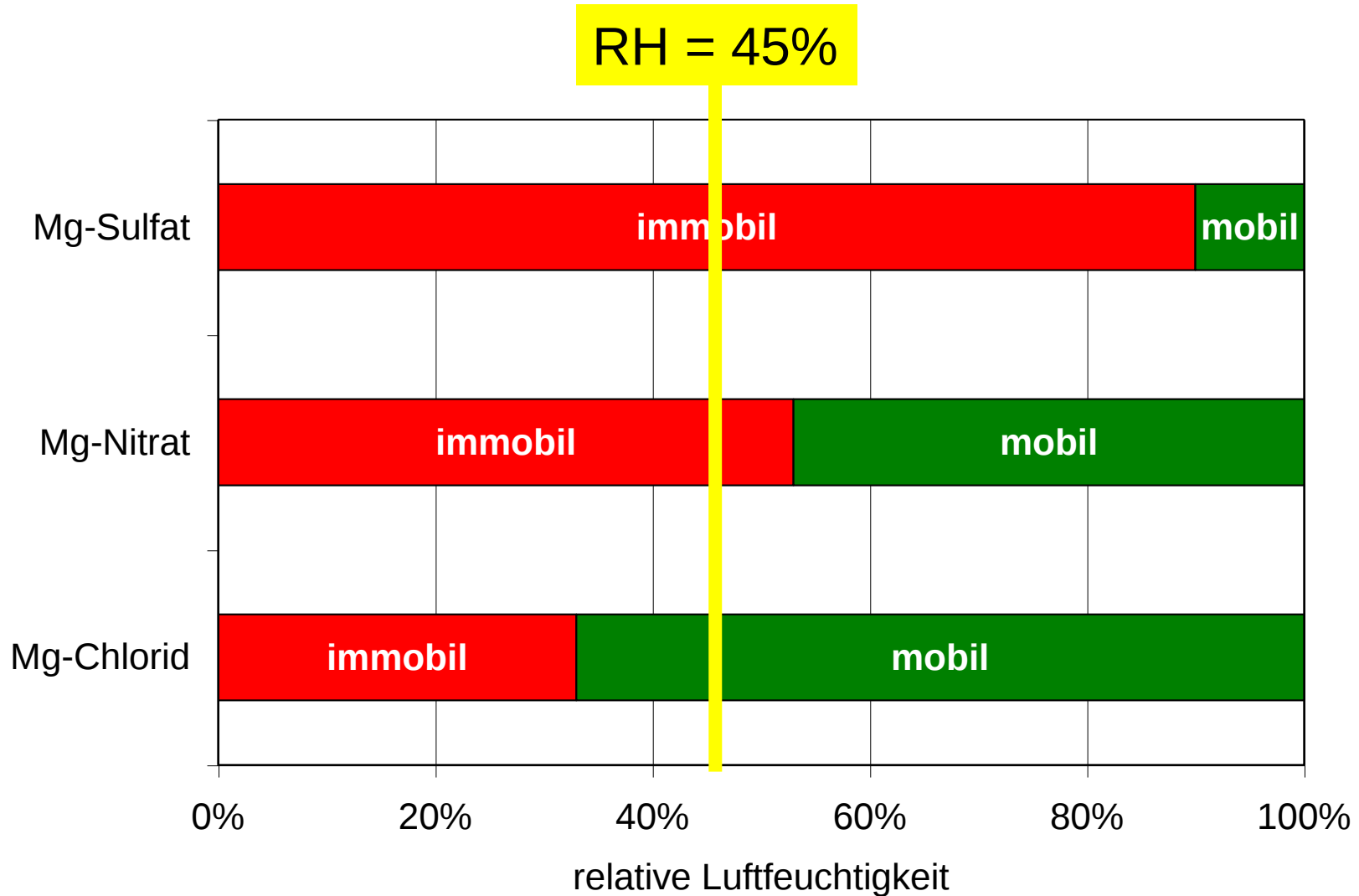
■ KCl	85%
■ KNO_3	93%
■ K_2SO_4	98%

■ MgCl_2	33%
■ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	54%
■ MgSO_4	90%

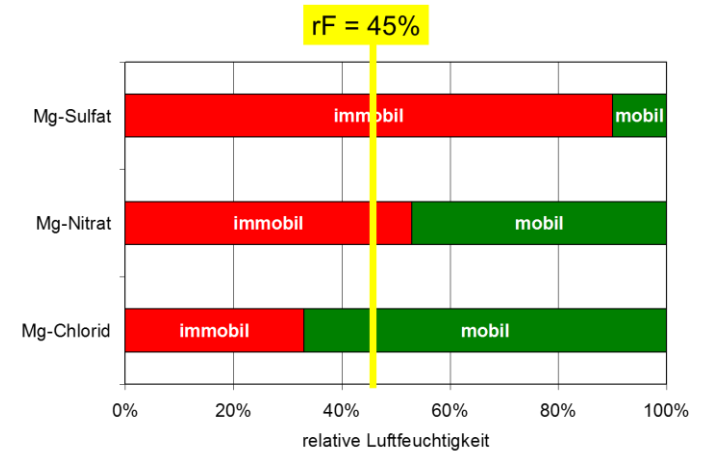
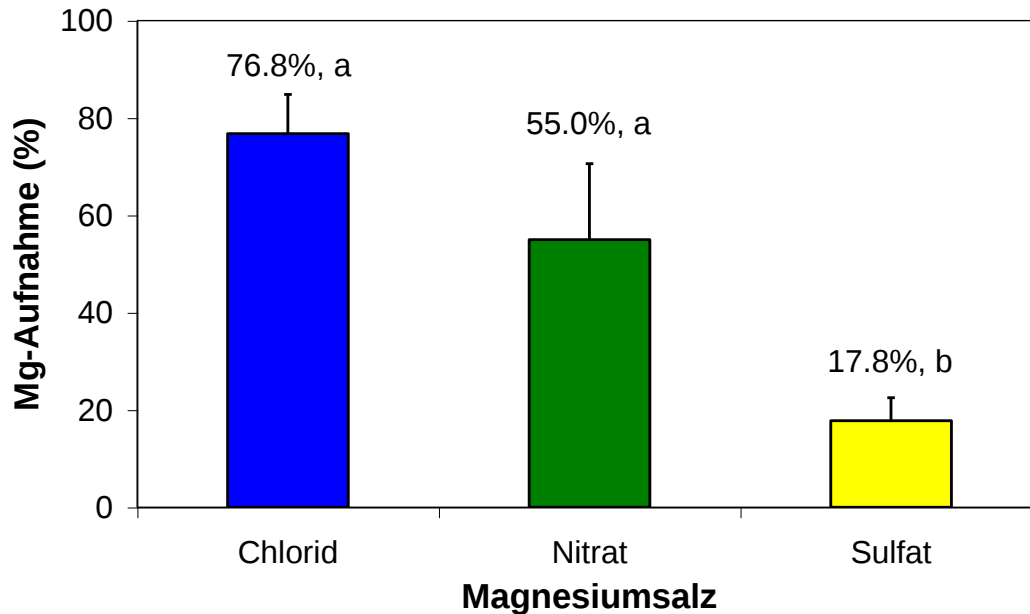
■ ZnBr_2	9%
■ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	42%
■ ZnSO_4	90%

Faustregel: Chlorid < Nitrat < Sulfat

Einfluss des DQ auf die Aufnahme von Mg in Ackerbohnen-Blätter



Einfluss des DQ auf die Aufnahme von Mg in Ackerbohnen-Blätter



Fazit: Luftfeuchtigkeit und Blattdüngung

Der **Deliqueszenzpunkt (DQ)** des Salzes und die **Luftfeuchtigkeit (RH)** bestimmen zusammen

ob das Salz **im Gleichgewicht** flüssig ist oder fest

...**mobil** ist oder **nicht**

...**aufnehmbar** ist oder **nicht!**

RH > DQ: mobil

RH < DQ: immobil

schnelle Aufnahme

langsame Aufnahme

- Praktische Anwendung -

Wichtige Anwendungsgebiete der Blattdüngung

Spurenelemente

- Bei **akuter Unterversorgung**, z.B. wg. Trockenheit
- Auf **Mangelstandorten**, z.B. Kalkböden



Calcium

- Generelles Problem bei **Früchten** (Äpfel, Tomaten, Paprika usw.)
- Grund: Calcium ist in der Pflanze **nicht verlagerbar**



Wichtige Anwendungsgebiete der Blattdüngung

Spurenelementmangel

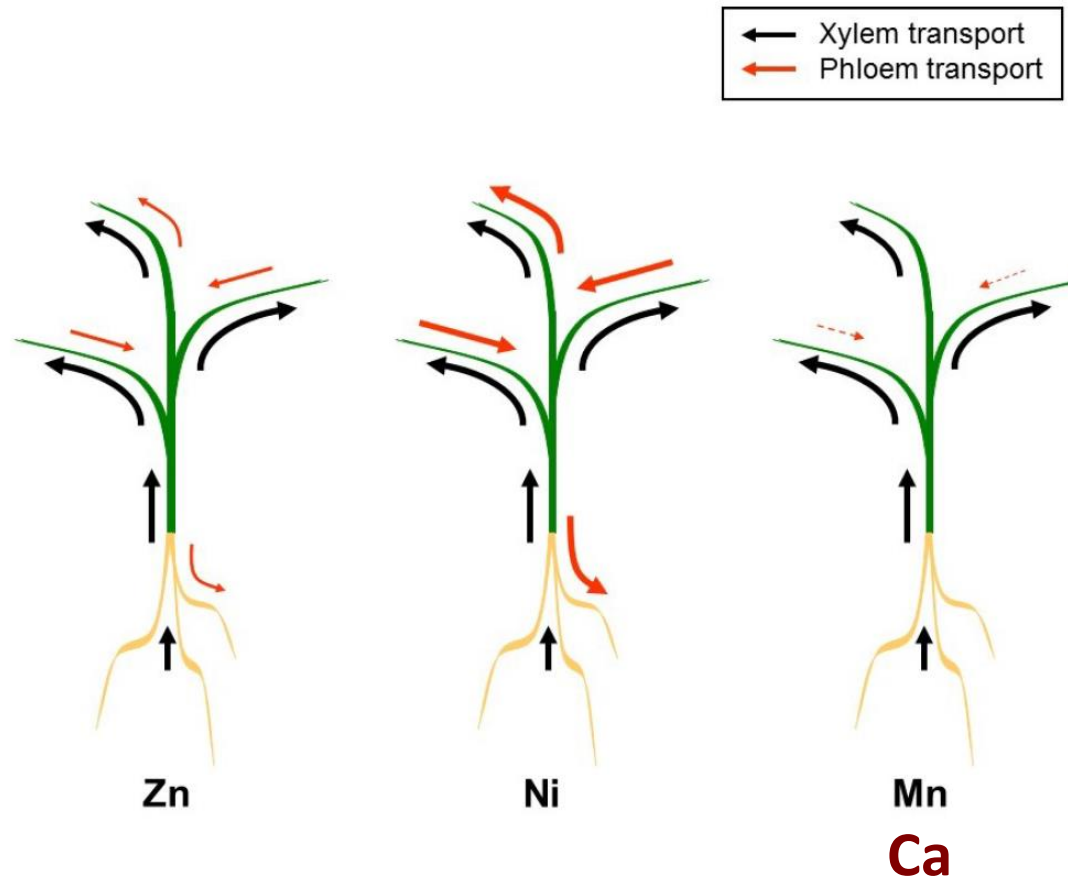
- Meistens **genug** im Boden **vorhanden**, jedoch **nicht** in **pflanzenverfügbarer** Form
- Im Boden **chemisch festgelegt**

Calciummangel

- Meistens genug im Boden **vorhanden** und **aufgenommen**
- gelangt aber **nicht in die Früchte**, weil in der Pflanze **nicht verlagerbar**

**Düngung über Boden/
Wurzeln hilft nicht!
Nur Düngung über
das Blatt/die Frucht
kann helfen!**

Große Unterschiede in der Verlagerbarkeit in der Pflanze



Page and Feller (2015), *Agronomy* 5, 447-463; doi:10.3390/agronomy5030447

Große Unterschiede in der Phloem-Mobilität

Mobilität		
Hoch	Mittel	gering
K	Fe	Ca
Mg	Zn	Mn
P	Cu	
S	B	
N (amino-N)	Mo	
Cl		
(Na)		

Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Third Edition, 2012, verändert

- **Blattdüngung** bei **Spurenelementen** und bei **Ca** oft die beste Option:
- **Spurenelemente** nicht verfügbar, **Ca** nicht verlagerbar.
- **Aber:** Wirkt nur auf behandelte Pflanzenoberfläche, nicht/nur eingeschränkt im Neuzuwachs oder in den Wurzeln!

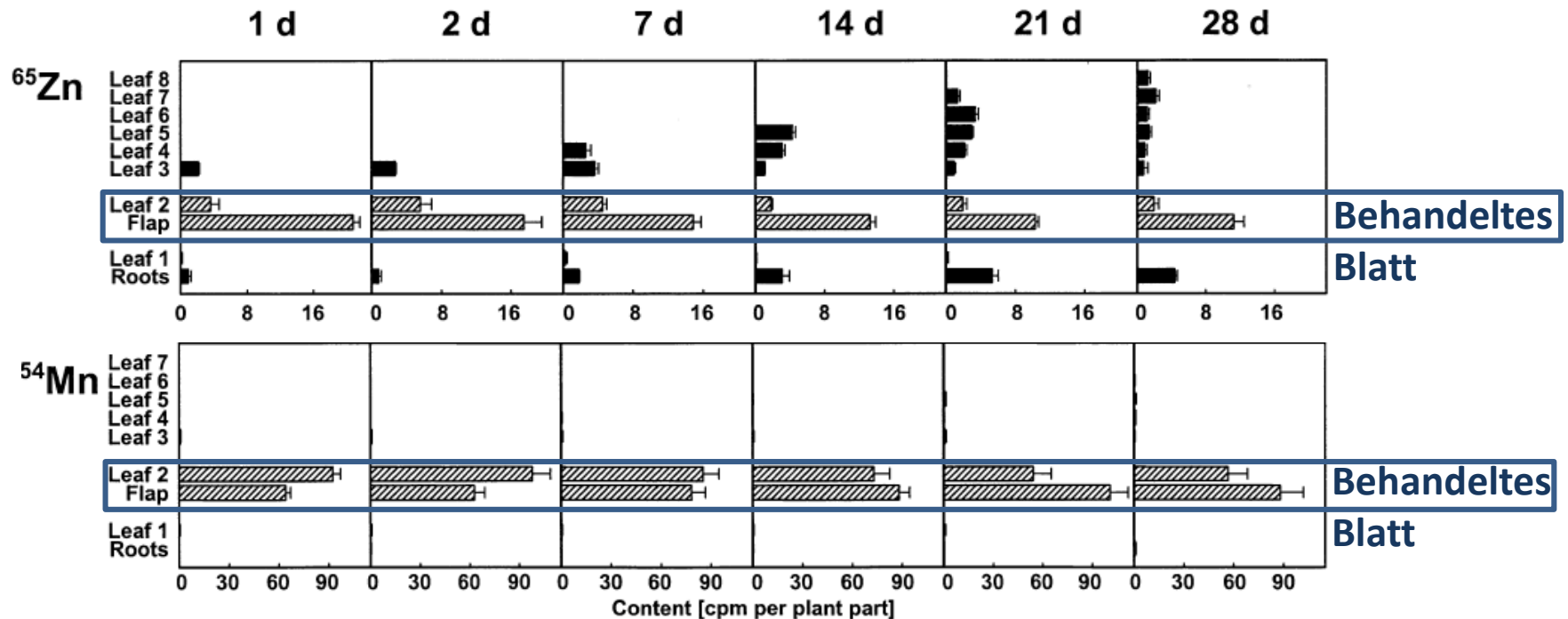
Praktisch nicht verlagerbar: Mangan



Manganmangel bei Soja

Praktisch nicht verlagerbar: Mangan

Vergleich der Verlagerbarkeit von Mn und Zn aus Weizenblättern nach Blattdüngung



Mangan: Keine Umverteilung in andere Blätter oder die Wurzeln!

Praktisch nicht verlagerbar: Calcium

Physiologischer Ca-Mangel in Früchten



Fruchtendfäule, Tomate



Stippigkeit, Apfel

Physiologischer Ca-Mangel in Früchten

Ursachen:

- **Ca nicht phloemmobil**
- **Ca** gelangt daher nur in die Frucht, wenn sie **transpiriert** (Wurzel → Xylem → Frucht)
- Also hauptsächlich in **frühen Stadien**
- **Später**: Cuticula mit Wachsschichten hemmt Transpiration, evtl. vorhandene Stomata werden “stillgelegt”
- Problem der Züchtung hin zu **großen Früchten (?)** → **Ca-Vorrat** aus frühen Stadien **reicht nicht** mehr!

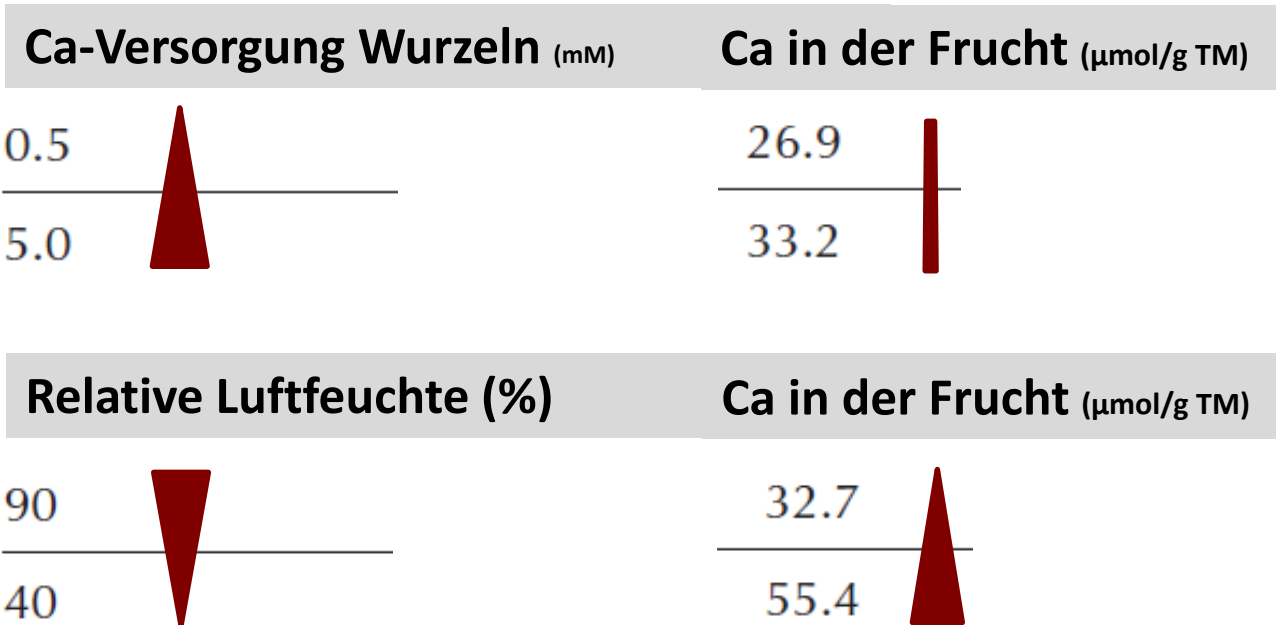


Physiologischer Ca-Mangel in Früchten

Vermeidung/Behebung

- Transpiration der Früchte fördern

Paprika



Behebung/Vermeidung von physiologischem Ca-Mangel in Früchten

Maßnahmen

- Belüftung der Früchte sicherstellen (Schnitt), hohe Luftfeuchtigkeit vermeiden (Gewächshaus)
- Ausgewogene Düngung: übermäßige K- und N-Düngung erhöht das Risiko
- Spritzung der Früchte mit Ca-Salzen
- Fruchtbehandlung frühzeitig und regelmäßig!

- Fazit und Schlussfolgerungen -

Fazit und Schlussfolgerungen

- Blatt- und Fruchtdüngung ist insbesondere für **Mikronährstoffe** und **Calcium** eine sehr **wirksame Methode** zur Vermeidung und Behebung von Ernährungsstörungen
- **Risiken** bestehen grundsätzlich durch mögliche Überdosierung und nachfolgenden **Blattschäden**
- **Stomata** leisten einen wichtigen Beitrag zur Stoffaufnahme durch pflanzliche Oberflächen → bei Applikation wenn möglich **berücksichtigen!**
- Durch Wahl eines Salzes mit geeignetem **Deliqueszenzpunkt** (DQ) kann die **Dynamik der Nährstoffaufnahme** gesteuert werden
- **Zeitpunkt**: Vorbeugen besser als heilen! (→ z.B. Ca und Früchte)

→ **Auch bei der Blattdüngung ist es wichtig zu wissen, was man wann, wie und warum macht!**